



Anexo 1. Formato de protocolo de investigación

1. Datos generales del proyecto

- **Título de proyecto:** Secador solar de convección forzada para productos agrícolas supervisado por IoT
- **Etapas/Etapa única:** etapa única
- **Fecha inicio:** 01/08/2023
- **Fecha fin:** 01/08/2024
- **LGAC de INFOTEC en la que incide el proyecto:**

Núm.	LGAC (Línea General y Aplicación del Conocimiento)	Marcar con X
1	La SIC y la apropiación social de las TIC	
2	Las TIC y la gestión de la información y el conocimiento	
3	Ciberseguridad y delitos informáticos	
4	Protección de datos digitales	
5	Regulación de las TIC	
6	Diseño y desarrollo de sistemas embebidos inteligentes para aplicaciones industriales, biomédicas e internet de las cosas	X
7	Regulación y política pública de las telecomunicaciones	
8	Analítica de datos e información	
9	Combinatoria, modelado y análisis de algoritmos	
10	Inteligencia computacional en la Ciencia de Datos	
11	Analítica de grandes cúmulos de información	

- **Palabras clave:** Secador solar, convección forzada, Internet de las Cosas.

2. Descripción del proyecto

- **Resumen (ejecutivo):**

Se propone implementar un secador solar para monitorear el proceso de secado de productos agrícolas utilizando el Internet de las Cosas (IoT), donde para lograr un secado eficiente se empleará el método de convección forzada, que permite controlar y manipular el caudal másico. La supervisión remota será facilitada mediante la transmisión y recepción de datos en tiempo real a través de una interfaz web. Dentro de los componentes básicos del secador, se contemplan un ventilador eléctrico para la generación de flujo másico, una celda de carga para medir con precisión la pérdida de peso del producto y una cámara integrada para monitorear continuamente el progreso del secado, incorporando procesamiento de imágenes y métodos de aprendizaje maquina para obtener el producto



**Dirección Adjunta de Innovación y Conocimiento
Gerencia de Innovación
Subgerencia de Innovación Gubernamental**

óptimo en términos de pérdida de humedad, para que el producto final siga siendo atractivo para el mercado, contribuyendo así a la mejora de calidad del secado de productos agrícolas. También se deberá incorporar un panel fotovoltaico conectado a una batería recargable que suministre la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del secador. Se evaluará el desempeño del secador con distintos productos agrícolas bajo condiciones variables de flujo másico dentro de la cámara de secado.

- **Antecedentes:**

El secado de los agroproductos es una práctica milenaria que permite la conservación de los alimentos a través de la eliminación del agua que retarda la descomposición de los alimentos. Los métodos de deshumidificación como convectivo, indirecto, microondas, congelación y secado al aire natural se encuentran comúnmente para un amplio uso [1]. El secado de las pérdidas de producto podría ser una de las técnicas de conservación más valiosas en muchos países en desarrollo, donde el porcentaje de pérdidas totales de producción es muy alto [2]. Evitar el deterioro de los alimentos contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas [3].

La energía solar es una fuente limpia y renovable para el secado de productos agrícolas. Hay varios secadores solares; el aparato más sencillo y económico es el que suele distribuir el producto en bandejas. Sin embargo, los alimentos pueden degradarse por exposición directa al sol u otros factores como el polvo e incluso la contaminación del aire. Otros dispositivos requieren un secado controlado que implica el control de parámetros, como la temperatura, la velocidad del aire y la humedad, superando las desventajas de los secadores abiertos [4].

La tecnología actual ampliamente utilizada para la medición, monitoreo y adquisición de datos en el proceso de secado de alimentos permite obtener mejores productos de los secadores solares. Además, los métodos agrícolas integran tecnologías avanzadas para realizar tareas laboriosas y repetitivas para la producción agrícola, desde el monitoreo manual hasta sistemas robóticos y estrategias de inteligencia artificial [5]. Por ejemplo, Internet de las cosas (IoT) es un paradigma tecnológico compuesto de una red de dispositivos conectados físicamente [6] que incluye sensores, actuadores, computadoras y protocolos de comunicación para una gama ampliada de aplicaciones [7]. Los agricultores pueden aumentar el rendimiento de los cultivos mediante la implementación de invernaderos con dispositivos IoT para monitorear y ejecutar acciones de forma automática y remota, como riego, iluminación, refrigeración y calefacción [8]. La



**Dirección Adjunta de Innovación y Conocimiento
Gerencia de Innovación
Subgerencia de Innovación Gubernamental**

recopilación de datos a través de IoT en los procesos de secado permite evaluar diferentes modelos predictivos basados en parámetros medidos, como la temperatura y la humedad dentro y fuera de la cámara de secado, para determinar el porcentaje de humedad remanente durante el secado del pescado [9].

• **Justificación:**

La deshidratación da una segunda oportunidad a productos agrícolas considerados pérdidas por no ser comercializables por sus defectos o por no cumplir con los estándares de la industria. Este método de conservación de productos perecederos contribuye a la sostenibilidad entre el crecimiento de la población y el suministro de alimentos, minimizando la pérdida de productos comestibles.

• **Objetivo general:**

Implementar un secador solar de convección forzada IoT de bajo costo, incluyendo monitoreo remoto del porcentaje de pérdida de peso en tiempo real e imágenes del progreso del secado de los productos agrícolas.

• **Objetivos específicos:**

- Construir la cámara de secado
- Incorporar los componentes que se requiere para el control de flujo másico y monitoreo remoto IoT.
- Obtener autonomía operativa energética a partir de un panel solar fotovoltaico.

• **Meta** (especificación de la finalidad del proyecto de investigación):

Este secador se concibió como un aparato consumado para mejorar la calidad de los productos agrícolas que se secan, para así contribuir al aprovechamiento de los residuos de alimentos de producciones agrícolas.

• **Metodología:**

Para el desarrollo del secador solar de convección forzada, se propone un sistema de monitoreo de secado para la pérdida de peso del producto con imágenes en tiempo real. El tiempo de secado del producto se acorta con un flujo de aire controlado mediante IoT para eliminar la humedad utilizando un extractor de aire. A su vez, la supervisión del secado del producto se realizará mediante monitoreo remoto vía IoT.



**Dirección Adjunta de Innovación y Conocimiento
Gerencia de Innovación
Subgerencia de Innovación Gubernamental**

El secador solar de convección forzada será fabricado en chapa de acero galvanizado, compuesto por dos cuerpos modulares, un colector solar y una cámara de secado. El colector consistirá en una estructura paralelepípedica unida a la cámara a través de tornillos -para permitir su portabilidad- en una posición diagonal de 24° cerca de la latitud de ubicación. Estará relleno de piedras y arena negra para almacenamiento de calor y cubierto con vidrio transparente.

El prototipo está pintado de negro mate para obtener la máxima ganancia de calor. La cámara de secado tendrá en su interior un juego de bandejas de secado de rejillas metálicas galvanizadas, suspendidas de una célula de carga electrónica. La energía eléctrica requerida será suministrada por un panel solar de 10 W instalado en la parte superior de la secadora, conectado a una batería de 12 Ah a través de un controlador de carga que alimenta un extractor de aire de 12 VDC utilizado para mantener el flujo de aire cuando se requiere. El propio secador tendrá su sistema embebido encargado de obtener medidas de la celda de carga, así como dos sensores de temperatura y humedad (sensores HTU21D). Una microcomputadora con comunicaciones Wi-Fi tendrá una cámara integrada para tomar una imagen del producto en secado, y esta información será transmitida junto con los datos del sensor a un servidor remoto.

Para las pruebas experimentales, el secador solar será colocado en un área que dispondrá de red inalámbrica Wi-Fi a través de un enrutador. Los usuarios a través de un sitio web alojado en el servidor remoto podrán consultar el estado del sistema, incluidos los valores de temperatura y humedad, el peso del producto y su porcentaje de secado. El ventilador de convección forzada se puede controlar desde el sitio web y establecer el intervalo del ciclo de trabajo.

Se utilizará un microcontrolador ESP32-CAM para obtener la imagen del producto de secado dentro de la secadora, que se puede ajustar a través de una interfaz web incluida en el microcontrolador. Este microcontrolador incorpora una cámara OV2640 con una resolución máxima de 1600 x 1200 píxeles e incluye un flash LED integrado. Se conectará una celda de carga OEM con un rango de operación de 0 a 5 kg a través de un circuito de comunicación serial HX711 y ambos sensores HTU21D se comunicarán con el protocolo I²C, y el ESP32-CAM a través del protocolo RS-232C al Arduino UNO. Para el control del caudal másico en el extractor de airea mediante variaciones del ciclo de trabajo del motor, se utilizará un controlador de motor BTS7960.



**Dirección Adjunta de Innovación y Conocimiento
Gerencia de Innovación
Subgerencia de Innovación Gubernamental**

El servidor remoto será utilizado para analizar los procesos de secado a través de las imágenes y se aplicarán técnicas de procesamiento de imágenes para obtener a partir de ellas el porcentaje de deshidratación. El secado del producto finaliza según el secado deseado y se puede enviar un correo electrónico al usuario.

- **Beneficios esperados** (según sea aplicable: los avances de la ciencia y/o tecnología que se prevén alcanzar con el logro de los objetivos; beneficios potenciales en términos de mercado, económicos, sociales, ambientales y recursos tecnológicos, entre otros; y modalidades de protección en materia de propiedad intelectual):

Proporcionar a las comunidades agrícolas del estado de Baja California Sur una herramienta asequible para generar mayor valor agregado a su producción mediante el secado de productos agrícolas que de otro modo se habrían considerado dañados, lo que impacta positivamente en la economía del productor y reduce el desperdicio. Esto presenta un incentivo para adoptar el secador solar IoT. Su inversión requerida relativamente baja permite a los productores beneficiarse de la tecnología y mejorar sus prácticas de secado.

- **Resultados esperados (productos entregables):**
Se espera implementar un secador de convección forzada altamente funcional y de bajo costo con las características ya descritas anteriormente que coadyuve en el aprovechamiento de residuos de producciones agrícolas, mejorando también la calidad de dichos productos ya deshidratados.

3. Cronograma de actividades

Etapa 1/Etapa única:				
#	Actividad	Resultado esperado (producto entregable)	Fecha inicio (dd/mm/aaaa)	Fecha fin (dd/mm/aaaa)
1	Construcción del "esqueleto" del prototipo del secador.	Esqueleto del prototipo del secador	01/08/2023	15/09/2023



**Dirección Adjunta de Innovación y Conocimiento
Gerencia de Innovación
Subgerencia de Innovación Gubernamental**

2	Pruebas con hardware de sistema embebido del secador	Componentes del sistema embebido funcionales	15/09/2023	15/11/2023
3	Puesta a punto de servidor remoto	Servidor remoto funcional	15/11/2023	15/12/2023
4	Pruebas con dispositivos IoT y envío de datos e imágenes	Base de datos cronológicos del avance de los procesos de secado así como imágenes de los productos a secar	15/12/2023	15/01/2024
5	Montaje del prototipo completo y pruebas de secado	Prototipo funcional	15/01/2024	15/04/2024
6	Publicación de resultados	Artículo científico publicado en revista indexada	15/04/2024	01/08/2024

4. Referencias

- [1] Mohan, V.C. and Talukdar, P., 2010. Three dimensional numerical modeling of simultaneous heat and moisture transfer in a moist object subjected to convective drying. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53(21-22), 4638-4650. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.06.029>
- [2] El-Sebaï, A.A. and Shalaby, S.M., 2012. Solar drying of agricultural products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 37-43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.134>
- [3] United Nations. (2015) General Assembly Resolution A/RES/70/1. Transforming Our World, the 2030 Agenda for Sustainable Development. https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf
- [4] Lingayat, A.B., Chandramohan, V.P., Raju, V.R.K. and Meda, V., 2020. A review on indirect type solar dryers for agricultural crops–Dryer setup, its performance, energy storage and important highlights. *Applied Energy*, 258, 114005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114005>
- [5] Ma, Z., Rayhana, R., Feng, K., Liu, Z., Xiao, G., Ruan, Y. and Sangha, J.S., 2022. A review on sensing technologies for high-throughput plant phenotyping. *IEEE Open Journal of Instrumentation and Measurement*, 1, 1-21. DOI: <https://doi.org/10.1109/OJIM.2022.3178468>



**Dirección Adjunta de Innovación y Conocimiento
Gerencia de Innovación
Subgerencia de Innovación Gubernamental**

[6] Ashton, K., How the Term 'Internet of Things' Was Invented, A. D. Rayome, Ed. Redwood City, CA, USA: Tech Republic, 2018.

[7] Khan, N.A., Awang, A. and Karim, S.A.B.A., 2022. Security in Internet of Things: A review. *IEEE Access*, 10, 104649-104670. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3209355>

[8] Rayhana, R., Xiao, G. and Liu, Z., 2020. Internet of things empowered smart greenhouse farming. *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, 4(3), 195-211. DOI: <https://doi.org/10.1109/JRFID.2020.2984391>

[9] Lim, H.Y., Fam, P.S., Javaid, A., Ali, M. and Khan, M., 2020. Ridge Regression as Efficient Model Selection and Forecasting of Fish Drying Using V-Groove Hybrid Solar Drier. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 28(4). DOI: <https://doi.org/10.47836/pjst.28.4.04>

5. Grupo de trabajo

- Instituciones vinculadas:
 - a. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR)
 - i. Colaboradores:
 1. Dr. Joaquín Gutiérrez Jaguey
 2. M.C. Juan Francisco Villa Medina
 3. Dr. Miguel Ángel Porta Gándara
- Vinculación/Alianza estratégica: colaboración con el grupo de ingeniería del CIBNOR para el desarrollo del proyecto.

ATENTAMENTE

MIGUEL ÁNGEL PORTA GARCÍA
Profesor investigador

(enumerar e incluir los anexos correspondientes, en su caso).

Anexo 1.-

C.c.p. Mtro. Carlos Josué Lavandeira Portillo, Director Adjunto de Innovación y Conocimiento. Presente.